

## 短波通信中的宽带信道建模方法与比较

唐万斌\* 涂旭东 李少谦

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**基于对短波宽带信道的建模是研究短波宽带通信系统的关键和难点等问题。介绍了Volger决定性模型、子带并行—宽带窄带化模型、Watterson的两种改进模型和伪决定性模型4种典型的短波宽带信道模型,并进行比较和性能分析。经分析表明,作为决定性模型,Volger模型较为全面地反映了短波宽带信道的特性,但有不完善之处,同时也提出了进一步改进该模型的方向。

**关键词** 短波通信; 时间色散; 频率色散; 宽带短波信道

中图分类号 TN92 文献标识码 A

## Comparison of Wideband Channel Models in HF Communication

Tang Wanbin Tu Xudong Li Shaoqian

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** The key of developing high frequency wideband communication system is how to model the HF wideband channel. Some HF wideband models are discussed and compared in this paper, including Vogler model, parallel subband model, two improved Watterson models and Pseudo-Deterministic model. As a deterministic model, Volger model basically describes the characteristics of HF wideband channel, but it also needs to be improved. The improvement of Vogler model is given in this paper.

**Key words** HF communication; time dispersion; frequency dispersion; HF wideband channel

短波通信作为主要的通信手段之一,随着信息社会对多媒体、高速分组等宽带业务的需求日益增长,如何提高短波通信的数据传输速率,增加传输容量成为了短波通信的研究热点<sup>[1]</sup>。为了设计和验证短波宽带通信系统的性能,首先需要根据短波宽带信道的传播特性进行建模。Watterson短波信道模型是CCIR推荐的一种广泛使用的模型,然而其有效带宽仅12 kHz,只适合数据通信的传输速率低的情况,因此对于更高带宽的短波通信需要新的信道模型<sup>[2]</sup>。

短波(天波)通信是通过电离层反射进行的。由于电离层是分层、不均匀、各向异性、色散、随机、有时空性的介质,所以短波信道属于随机变参信道,即传输参数是时变的、无规律的。在短波信道存在着多径时延、衰落、多普勒频移、近似高斯分布的白噪声和电台干扰等一系列复杂现象。对短波信道建模的研究分为两个主要内容:一是信道的衰落特性建模,二是信道中的干扰和噪声建模。本文所述短波信道建模仅指前者。

对于短波宽带信道的建模有两种方法:一种为统计建模方法,一种为决定建模方法<sup>[2]</sup>。统计建模的模型由于抽象出了统计模型,所以参数少,在实现复杂度上远远小于决定性模型,同时改变统计性模型的参数可以获得无限种可能的短波信道条件。尽管决定性模型需要大量的测试参数,但正由于此,决定性模型

2003年8月29日收稿

\*男 30岁 硕士 讲师 主要从事无线通信和移动通信方面的研究

的准确性要高于统计性建模。本文将对目前已有的4种短波宽带信道模型进行比较和性能分析。

## 1 Vogler短波宽带信道模型

1993年, Vogler和Hoffmeyer根据Wagner、Basler等人的实验测试数据, 基于信道的散射函数, 推导出短波宽带信道的传递函数<sup>[3]</sup>

$$h(t, \tau) = \sum_n h_{pn}(t, \tau) = \sum_n \sqrt{P_n(\tau)} D_n(t, \tau) \psi_n(t, \tau) \quad (1)$$

其中 $n$ 表示 $n$ 个独立的传输路径,  $P_n(\tau)$ 表示第 $n$ 条路径的延迟功率分布, 其数学统计模型为

$$P(\tau) = A \frac{\alpha^{\alpha+1}}{\Delta \Gamma(\alpha+1)} z^\alpha e^{-\alpha z} \quad (2)$$

式中  $z = \frac{\tau - \tau_c}{\Delta} + 1$ ,  $\tau$  为时延变量,  $\Delta$  控制宽度,  $\tau_c$  控制延迟偏移量,  $\alpha$  控制分布的对称性,  $\Gamma(\cdot)$  为Gamma函数。延迟功率谱由输入信道传输函数的四个参数确定, 如图1所示。

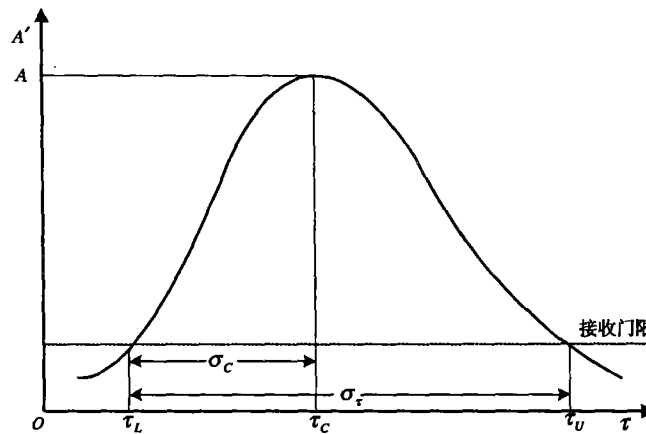


图1 延迟功率分布

$D(t, \tau)$  为决定性相位函数, 表征多普勒频移

$$D(t, \tau) = e^{2\pi i [f_s + m(\tau - \tau_c)] t} \quad (3)$$

式中  $m$  为多普勒频移对时延  $\tau$  的变化率,  $f_s$  为谱勒频移在  $\tau = \tau_c$  时的值。

$\psi_n(t, \tau)$  为随机调制函数, 表征了多普勒扩展。对于每个独立的传输路径, 需要计算一个随机序列  $\psi_n(t, \tau)$ , 该序列在时延  $\tau$  上独立, 在时间  $t$  上相关, 时间相关性决定了多普勒扩展的宽度和形状。经过统计分析, Gaussian 和 Lorentzian 的多普勒扩展分布如下

$$\xi = \pi \sigma_f^2 t \quad \sigma_f = \sigma_D \{2\pi / (-\ln s_v)\}^{1/2} \quad (4)$$

$$\xi = \sigma_f \quad \sigma_f = 2\pi \sigma_D \{s_v / (1 - s_v)\}^{1/2} \quad (5)$$

式中  $s_v = A_n / A$ ,  $\sigma_D$  是多普勒扩展的半带宽,  $A_n$  是接收信号阈值。

文献[4]根据Vogler模型, 用DSP平台建立了短波宽带信道仿真器, 并进行了验证, 其框图如图2所示。

Vogler模型是目前较为完善的统计性短波宽带信道模型, 从功率延迟分布、多普勒频移和多普勒扩展三个主要的方面完成了对信道的统计性建模, 其适用带宽最高可达1 MHz。但其中主要的问题是对于每条传输路径中的各个延迟点上的传输特性完全独立这个假设是否能成立, 应该说各个延迟点上的传输特性具有一定的相关性, 但这种相关性在Vogler模型中没有体现。

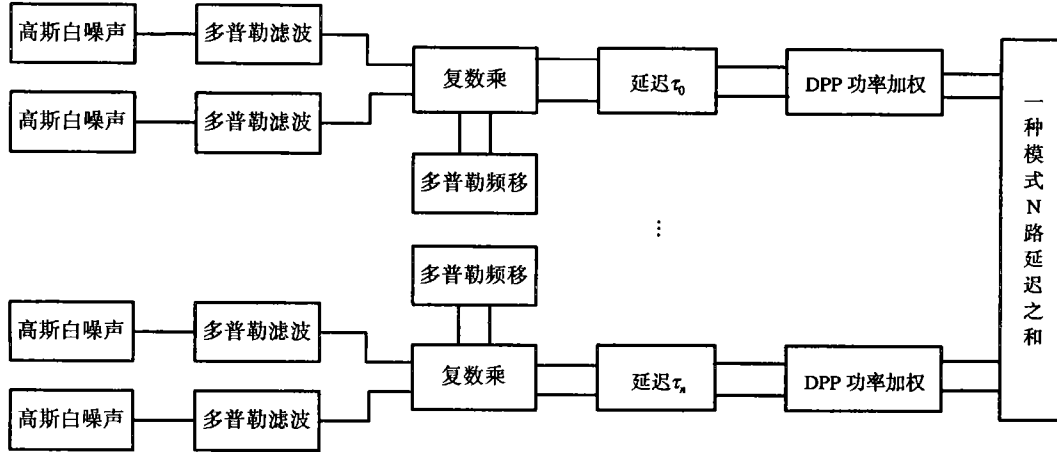


图2 Vogler短波宽带信道模型的实现框图

### 2 子带并行-宽带窄带化模型

子带并行-宽带窄带化模型<sup>[5]</sup>属于决定性建模方法, 是对Waterson模型的扩展。该模型把宽带信号分解为频域上的若干子频段, 子频段的带宽(<10 kHz)小于信道的相干带宽, 经历相同的衰落。文献[5]采用多个DSP处理方式实现了宽带短波信道仿真器。仿真器结构包括子带分解、子带处理和子带综合三个部分, 其结构如图3所示。

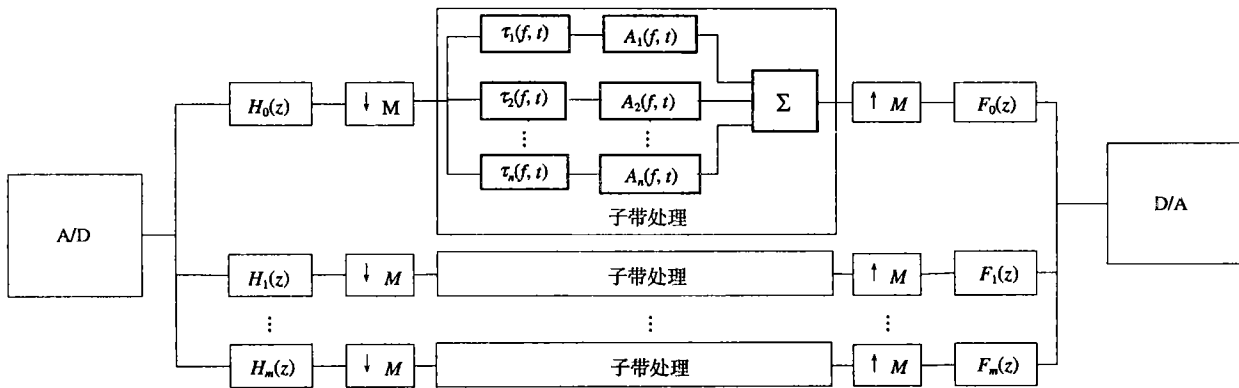


图3 子带并行-宽带窄带化模型

子带并行-宽带窄带化模型的信号带宽最高可达1 MHz, 具有结构简单的特点, 但由于其需要大量的实测参数, 因此同时实现复杂度高, 因此用于计算机仿真将面临仿真时间长的不足。

### 3 两种Waterson的改进模型

#### 3.1 Watterson模型加高斯随机延迟

文献[6]假设由于电离层的影响, 每条传输路径上的传输时延服从高斯分布。设发射频率为 $\omega_0$ 的正弦波, 则改进后Watterson模型的输出表达式可改写为

$$C(t) = \sum_{k=1}^n b_k \exp[i\omega_0(t - \alpha_k - A_k(t)) + i v_k t] \tag{6}$$

式中  $b_k$ 、 $\alpha_k$ 、 $A_k(t)$ 、 $v_k$  分别为第 $k$ 支路的传输能量, 传输平均时延, 随机延迟(高斯分布)和多谱勒频移。

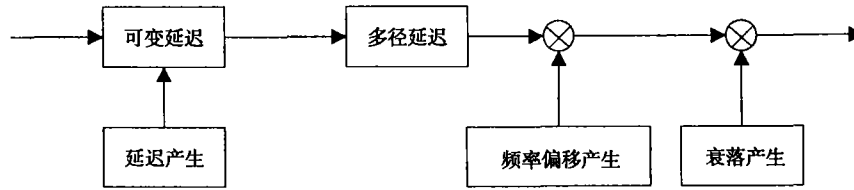


图4 加高斯随机延迟的Watterson改进模型

该模型实现简单，其实现结构如图4所示。但该模型假设每条径的时延变化服从高斯分布，且能量不变，这样的假设没有得到实测的验证，所以没有得到广泛的认可。

### 3.2 Watterson模型后接群延迟特性滤波器

Milson提出了在Watterson模型的输出端接上一个线性特性的群延迟滤波器来实现信道的群延迟特性<sup>[7]</sup>，改进Watterson模型的不足，获得短波宽带信道模型，其结构如图5所示。

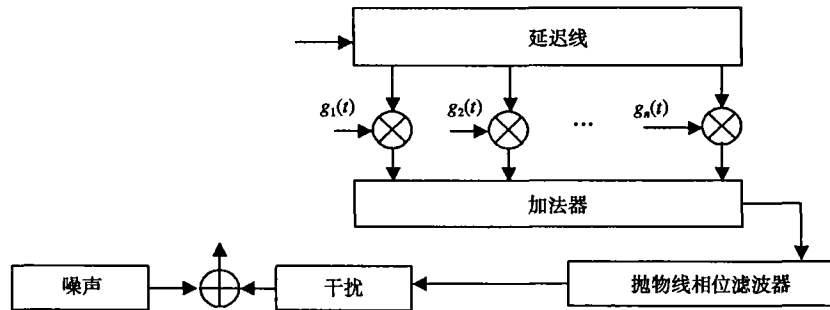


图5 后接群延迟特性滤波器的Watterson改进模型

但这种方法根本的不足在于该方法认为宽带信道内的频率分量是相关的，但实际情况是相隔几赫兹的频率分量将经历独立衰落。

## 4 伪决定性信道模型

文献[2]提出了一种伪决定性宽带信道模型，如图6所示。短波宽带信道中的每个模式或每条径的传输函数可以用一个决定性分量和一个随机分量  $g_n(t, f)$  表示为：

$$g(t, f) = \sum_{i=1}^n A_i(t, f) e^{2\pi j \phi_i(t, f)} + \sum_{i=1}^n g_n(t, f) \quad (7)$$

式中  $n$  为模式的数量， $A_i(t, f)$  为测量的模式幅度， $\phi_i(t, f)$  为相位函数，在此模型中相位函数用泰勒序列表示为：

$$\phi(t, f) = \phi(t_0, f_c) + (f - f_c) \frac{\partial \phi}{\partial f}(t_0, f) + (t - t_0) \frac{\partial \phi}{\partial t}(t, f_c) + (f - f_c)(t - t_0) \frac{\partial^2 \phi}{\partial f \partial t}(t_0, f) \quad (8)$$

式中  $f_c$  为载波频率， $t_0$  为参考时间。

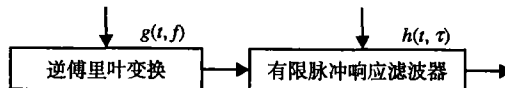


图6 伪决定性信道模型

通过大量的测试发现，随机分量  $g_n(t, f)$  具有双变量高斯分布，并在每条径间的随机分量具有很强的相关性，因此可以用低阶的自回归过程进行仿真。

## 5 结 论

目前还没有更好的宽带信道模型能像Waterson模型一样得到广泛的应用,关键在于短波宽带信道模型必须具有普遍性的意义,而目前已有的模型还存在这样或那样的缺陷,不能很好地表征典型的短波宽带信道复杂的传播特性。在决定性模型方面,由于复杂度高,则需要用硬件平台实现,同时要求大量的实测数据,其中伪决定性模型比子带并行—宽带窄带化模型实现复杂度低。在统计性模型方面,Watterson模型加高斯随机延迟模型和Watterson模型后接群延迟特性滤波器模型实现简单,但两种模型的假设不具有普遍性意义,没有得到广泛的认可。Vogler模型是目前较为完善的统计性短波宽带信道模型,从功率延迟分布、多普勒频移和多普勒扩展三个主要的方面完成了对信道的统计性建模。在下一步的研究中,完善Vogler模型的关键是:如何对功率延迟分布中各延迟节点间衰落特性的相关性进行合理的数学抽象。

### 参 考 文 献

- [1] Nilsson J E M. Wideband multi-carrier transmission for military HF communication[J]. Proc. IEEE MILCOM'97, 1997, (2): 1046-1051
- [2] Timothy C G. On the Design of HF Radio Modems[M]. Adelaide: The University of Adelaide, 1995
- [3] Vogler L E, Hoffmeyer J A. A model for wideband HF propagation channels[J]. Radio Sci, 1993, 28(6): 1131-1142
- [4] Mastrangelo J F. A new wideband high frequency channel simulation system[J]. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45: 26-34
- [5] Van der Perre L, Van der Capelle A. Implementation of an extend simulation for the channel on a multi-DSP board[J]. HF Radio Systems and Techniques, Conference Publication, IEE, 1997, (411): 373-377
- [6] Lacaze B. Modelling the HF channel with Gaussian random delays[J]. Signal Processing, 1998, 64: 215-220
- [7] Milson J D. Wideband channel characteristics and short spread-spectrum link[J]. HF Radio Systems and Techniques, Conference Publication, IEE, 2000, (474): 305-309

编 辑 王 燕

· 科研成果介绍 ·

### 大功率微波多路自动切换输出系统

主研人员: 王文祥 孙嘉鸿 张兆镗 周 鹏 赵国庆 宫玉彬 余国芬

大功率微波多路自动切换输出系统是实现410-7-7工程发射机中发射管至正交极化馈源入口的一段大功率微波传输系统,它可完成频带连接功能,实现四只发射管共用一天线,达到宽带发射的目的。该系统能传输高峰值功率和高平均功率微波,设置了打火保护、驻波保护、负载隔离、功率取样及软波导连接等功能元件,保证系统在大功率状态下安全可靠地运行。

· 渠 涌 ·